

Abstract (Basic): JP 11246410 A

NOVELTY - The interference optical intensity of the reference beam of a specimen (15) that interferes with a signal light reflected from the surface of the specimen is measured after a movable mirror (27) reflects the signal light to the specimen through a variable magnification optical system (30). The focal distance of the specimen is made lesser than the focal distance of the movable mirror. DETAILED DESCRIPTION - The variable magnification optical system is provided between the movable mirror and the specimen in a state the predetermined surfaces of the specimen and the movable mirror become

DialogClassic Web(tm)

Page 8 of 88

conjugated. The movable mirror adjusts the optical path length of the signal light distributed on an optical path.

USE - For light absorbency of e.g. urine, blood.

ADVANTAGE - Improves the resolution of depth direction of specimen. Changes signal strength depending on the difference of optical path lengths. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the schematic block diagram of the low coherent interferometer measuring device. (15) Specimen; (27) Movable mirror; (30) Variable magnification optical system.

Dwg.1/3

Title Terms: LOW; COHERE; INTERFEROMETER; MEASURE; APPARATUS; LIGHT; ABSORB ; URINE; BLOOD; MEASURE; INTERFERENCE; OPTICAL; INTENSITY; REFERENCE; BEAM; SPECIMEN; INTERFERENCE; SIGNAL; LIGHT; REFLECT; SURFACE; SPECIMEN; AFTER; MOVE; MIRROR; REFLECT; SIGNAL; LIGHT; SPECIMEN

Derwent Class: S02

International Patent Class (Main): G01B-009/02

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): S02-A03A

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-248412

(43)公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51)Int.Cl.⁹
G 0 1 B 9/02

識別記号

F I
G 0 1 B 9/02

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平10-50534

(22)出願日 平成10年(1998) 3月3日

(71)出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 辻田 和宏

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

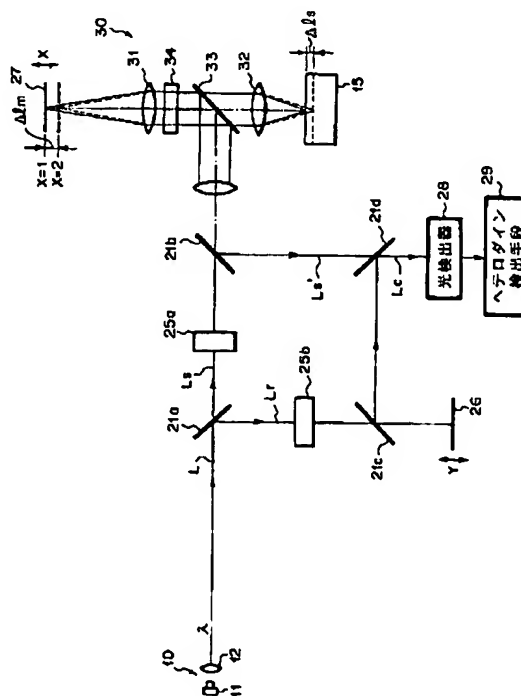
(74)代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

(54)【発明の名称】 低コヒーレント干渉計測装置

(57)【要約】

【課題】 低コヒーレント干渉計測装置において、試料奥行き方向の分解能を向上させる。

【解決手段】 光源装置10から出射された低コヒーレンスな光Lを互いに異なる2つの光路に沿って各別に進行する信号光L_sと参照光L_rとに分割し、AOM25a, 25bにより信号光L_sと参照光L_rとで僅かな周波数差 Δf を生じさせ、信号光L_sを可動ミラー27および変倍光学系30を介して試料15に入射せしめ、試料15の所定の面で反射された信号光L_s'と参照光L_rとの干渉光強度を検出器40により検出する。このとき、試料15の所定の面とミラー27は変倍光学系30に関して共役な位置関係にあり、変倍光学系30の試料15側の焦点距離 f_1 とミラー27側の焦点距離 f_2 とは、 $f_1 < f_2$ の関係とする。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料に対して低コヒーレント光である信号光を照射し、該信号光の試料の所定の面からの反射光と、前記信号光と僅かな周波数差を有する低コヒーレント光である参照光とを干渉せしめて該低コヒーレント干渉を計測する低コヒーレント干渉計測装置であって、前記信号光の光路上に配され、該信号光の光路長を調整する可動ミラーと、

該可動ミラーと、該可動ミラーに対して光学的に対向して配された試料との間に配された変倍光学系であって、前記試料の所定の面と前記ミラーとが該変倍光学系を介して共役となり、前記試料側の焦点距離 f_1 と前記可動ミラー側の焦点距離 f_2 との関係が $f_1 < f_2$ である変倍光学系とを備え、

前記可動ミラーによって反射せしめられた信号光を前記変倍光学系を経て前記試料に入射せしめ、該試料の所定の面で反射された信号光と前記参照光とを干渉せしめて、該干渉せしめられた干渉光強度を計測するものであることを特徴とする低コヒーレント干渉計測装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、低コヒーレント干渉計測装置に関し、特に試料の奥行き方向の分解能を向上させた低コヒーレント干渉計測装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、低コヒーレント干渉計測装置、特にヘテロダイン干渉計測装置は、生体におけるグルコース濃度の測定や、尿、血液等の各成分濃度等の吸光度を測定するため等に用いられている。

【0003】この低コヒーレント干渉計測装置は、同一光源から出射された光を参照光と信号光とに分割し、信号光を観測対象試料に入射せしめて該試料の所定の面から反射された反射光と参照光とを干渉せしめて、この干渉光強度を測定するものである。この低コヒーレント干渉計測装置においては、両光の干渉は参照光の光路長と信号光の光路長とが完全一致した時にのみ生じるのが理想であるが、実際には光源のコヒーレンス長により、両光に多少の光路長差があっても干渉が生じる。この場合、干渉光強度と光路長差との関係は、図xに示すようなガウス関数で表され、このときの半値幅が低コヒーレント干渉計における分解能と言われるものである。

【0004】従来の低コヒーレント干渉計は光源から出射された低コヒーレント光をビームスプリットによって分割し、音響光変調器により両光に僅かな周波数差を生ぜしめ、信号光を試料に入射させて該試料の所定の面で反射した反射光と参照光とを、該参照光の光路上に配された可動ミラーにより両光の光路長を一致させて干渉させる構成である。

【0005】この場合、試料奥行き方向の分解能は信号

光と参照光の光路長差による分解能そのものとなっており、前述の通り光源の低コヒーレンス度に依存するものである。そのため、例えば光源として半値幅20nmのスペクトルを有するSLD(Super Luminescent Diode)を用いた場合、干渉信号強度の理論分解能は17μm程度となる。従って、この分解能と同程度の厚さの中に枚数層を有するような試料の場合、各層からの反射光を区別することができなかった。

【0006】既に、この試料奥行き方向の分解能を向上させるため、例えば、分解能として10μm程度を得るために、低コヒーレントで高輝度の光源を用い、Cr⁴⁺forsterite laserの短パルス(fs:10⁻¹⁵sec.)を使用した装置が提案されているが(Science Vol.276.27 Jun.1997 参照)、発生装置・光源ともに大がかりで高価な装置となり、実用化の面から考えると大きさ、コストの両面で問題がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、容易かつ安価に、奥行き方向の分解能を向上させた低コヒーレント干渉計測装置を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の低コヒーレント干渉計測装置は、試料に対して低コヒーレント光である信号光を照射し、該信号光の試料の所定の面からの反射光と、前記信号光と僅かな周波数差を有する低コヒーレント光である参照光とを干渉せしめて該低コヒーレント干渉を計測する低コヒーレント干渉計測装置であって、前記信号光の光路上に配され、該信号光の光路長を調整する可動ミラーと、該可動ミラーと、前記可動ミラーに対して光学的に対向して配された試料との間に配された変倍光学系であって、前記試料の所定の面と前記ミラーとが該変倍光学系を介して共役となり、前記試料側の焦点距離 f_1 と前記可動ミラー側の焦点距離 f_2 との関係が $f_1 < f_2$ である変倍光学系とを備え、前記可動ミラーによって反射せしめられた信号光を前記変倍光学系を経て前記試料に入射せしめ、該試料の所定の面で反射された信号光と前記参照光とを干渉せしめて、該干渉せしめられた干渉光強度を計測するものであることを特徴とするものである。

【0009】ここで、上記低コヒーレント光としては、可干渉距離が数10μm程度と短い、例えばSLD(Super Luminescent Diode)やLED等の光源から出射された光が用いられる。

【0010】また、上記「干渉光強度を測定する」とは、上記信号光と参照光との差周波数で強弱を繰り返すビート信号(干渉光)の強度を計測することを意味し、例えば、ヘテロダイン干渉計等による計測を意味する。

【0011】

【発明の効果】本発明の低コヒーレント干渉計測装置

は、信号光の光路長を調節するためのミラーと試料との間に変倍光学系を備えたことにより、該ミラーの移動によるミラー側の共役点の移動距離より、試料内部における共役点の移動距離を小さくすることができ、試料内部における共役点の移動距離が小さくても光路長の変化量は大きくなる。従って、試料内部における移動距離が小さくても光路長差が顕著となるため、光路長差に依存する信号強度の変化が顕著となる。すなわち、高価な固体レーザ結晶を備えた超短パルス光源等を用いることなく奥行き方向の分解能を向上させることができる。

【0012】具体的には、例えば半値幅20nm程度のスペクトルを出力するSLDを光源として用いた通常の装置における理論分解能が約17 μ m程度であるものを、本発明の装置においては、10 μ m以下の分解能とすることができる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の具体的な実施の形態について図面を用いて説明する。

【0014】図1は本発明の第一の実施形態である低コヒーレント干渉計測装置を示す図である。

【0015】本実施の形態による低コヒーレント干渉計測装置は、中心波長 λ を有し、波長帯域の広い、可干渉距離が数10 μ m程度の低コヒーレンスな光を射出するSLD11と、この光を平行光にするコリメータ12を備えた光源装置10と、この光源装置10から射出された低コヒーレンスな平行光Lを異なる2つの光路に沿って各別に行進する信号光Lsと参照光Lrとに分割し、また2つの光を合波させ干渉せしめるための4つのビームスプリッタ(BS)21a,21b,21c,21dと、信号光Lsと参照光Lrとで僅かな周波数差 Δf が生じるように両光Ls、Lrを各別に変調する音響光変調器(AOM)25a,25bと、参照光Lrの光路上に配され、該参照光Lrの光路長を変化させる参照光光路長調整用ミラー26(以下「参照光用ミラー26」という)と、信号光Lsの光路上に配され、該参照光Lsの光路長を変化させる信号光光路長調整用ミラー27(以下「信号光用ミラー27」という)と、信号光用ミラー27と該ミラー27に対向して配置された試料15との間に配された、焦点距離の異なる2枚のレンズ31,32からなる変倍光学系30と、該変倍光学系30の2枚のレンズ31,32の間に配され、信号光Lsを信号光用ミラー27へ入射せしめ、試料の所定の面で反射された信号光Ls'をBS21bに帰還せしめるためのBS33及び $\lambda/4$ 板34と、試料の所定の面で反射された信号光Ls'と参照光Lrとの干渉光Lcの強度を測定する光検出器28と、光検出器28から得られた干渉光Lc強度から試料の所定の面で反射されて信号光Ls'の強度を求めるヘテロダイン検出手段29とを備えてなるものである。

【0016】なお、上記変倍光学系においては、2枚のレンズ31,32のうち、ミラー27側に配されたレンズ31の焦点距離 f_1 は、試料側に配されたレンズ32の焦点距離

f_2 よりも大きい、 $f_1 > f_2$ の関係にあり、信号光用ミラー27と試料15とは該変倍光学系に関して共役な関係に位置するものである。

【0017】ここでAOM25a,25bは必ずしも本実施形態のように両光(信号光Lsおよび参照光Lr)を各別に変調するものである必要はなく、少なくとも一方を変調して両光Ls, Lrに僅かな周波数差を生じさせるものであればよい。

【0018】なお、図1では変倍光学系中の光束を大きく誇張して示し、干渉計中の光束は模式的に線で示している。

【0019】次に本実施形態の干渉光計測方法について説明する。

【0020】まず、SLD11から中心波長 λ の低コヒーレンス光が射出される。射出された光はコリメータにより平行光Lにされた後、平行光Lは光路上の最初のビームスプリッタ21aにより、信号光Lsと参照光Lrとに分割される。これら信号光Lsおよび参照光Lrは各光路上にそれぞれ設けられたAOM25a,25bにより変調され、両光Ls, Lrには僅かな周波数差 Δf が生じる。

【0021】次に、変調された両光のうち信号光Lsはビームスプリッタ21bを透過して変倍光学系の2枚のレンズ31,32の間に配されているBS33により信号光用ミラー27に向けて反射され、 $\lambda/4$ 板34およびレンズ31を経てミラー27に入射され、該ミラー27により同光軸方向に反射されて、再びレンズ31、 $\lambda/4$ 板34を経てBS33を透過し、レンズ32を経て試料15へ入射せしめられる。試料15に入射された信号光Lsのうち該試料15の所定の表面で反射された信号光Ls'は、再びBS33とミラー27との間を往復し、再度 $\lambda/4$ 板34を2度通過することによりBS33により反射されるようになり、BS21bに帰還せしめられる。BS21bに帰還せしめられた信号光Ls'は、ここでBS21dに向けて反射される。なおここで、ミラー27を光軸方向(矢印X方向)に移動すると、ミラー27に対する試料15における共役点が移動し、レンズ31の焦点距離 f_1 とレンズ32の焦点距離 f_2 が異なるため、結果として信号光Lsがビームスプリッタ21dに到達するまでの光路長が変化する。

【0022】一方、変調された後の参照光Lrは、ビームスプリッタ21cを通過して参照光用ミラー26に入射し、このミラー26で反射され再度ビームスプリッタ21cに入射しここで反射されて次のビームスプリッタ21dを通過する。なおこのとき、参照光用ミラー26をその光軸方向(矢印Y方向)に移動すると、参照光Lrがビームスプリッタ21dに到達するまでの光路長が変化する。

【0023】ビームスプリッタ21dを経た信号光Ls'および参照光Lrは、再び同軸上に重なることになり、所定の条件の時に両光Ls', Lrとが干渉し、ビート信号を発生する。

【0024】参照光Lrおよび信号光Ls'は、可干渉

距離の短い低コヒーレンスな光であるため、信号光 L_s' (L_s) のビームスプリッタ21d に到達するまでの通過距離が、参照光 L_r のビームスプリッタ21d に到達するまでの通過距離に略等しいとき両光が干渉し、この干渉する両光の周波数差 (Δf) で強弱を繰り返すビート信号が発生する。

【0025】光検出器28によりこのビート信号の強度を検出し、ヘテロダイン検出手段29により試料15の所定面で反射された信号光 L_s' の強度を検出する。

【0026】次に、上記低コヒーレント干渉計測装置における分解能の向上の原理について説明する。

【0027】信号光用ミラー27が位置 $x=1$ の位置に配された状態で参照光 L_r と信号光 L_s との光路長が一致しているとする。このときの変倍光学系における信号光の光路を図1に実線で示す。なお、ミラー27が位置 $x=1$ から Δl_m だけ光軸方向に移動した $x=2$ の位置にずれた場合の信号光 L_s の光路を図1に破線で示す。また、図2にミラー27が $x=1$ (同図(a)) および $x=2$ (同図(b)) にある場合についてそれぞれBS33〜ミラー27〜BS33〜試料15までの光路を模式的に示す。BS33〜レンズ31の距離およびBS33〜レンズ32の距離を d_{12} 、レンズ31の焦点距離を f_2 、レンズ32の焦点距離を f_1 、ミラー27の移動距離を Δl_m 、試料中の共役点の移動距離を Δl_s とすると、ミラー27が $x=1$ の位置に配されている場合の信号光のBS33入射時から出射時までの光路長 $L(1)$ およびミラー27が $x=2$ の位置に配されている場合の光路長 $L(2)$ はそれぞれ、

$$L(1) = 2(f_1 + 2f_2 + 3d_{12})$$

$$L(2) = 2(f_1 + \Delta l_s + 2(f_2 - \Delta l_m) + 3d_{12})$$

で表される。したがって、両光の光路長差 ΔL_s は、

$$\Delta L_s = L(2) - L(1)$$

$$= 2(\Delta l_s - 2\Delta l_m)$$

ここで、 $f_2/f_1 = m$ とすると、 $\Delta l_m/\Delta l_s = m^2$ で

あるため、 $\Delta l_m = m^2 \Delta l_s$ となり、 $\Delta l_s - 2\Delta l_m =$

$$\Delta l_s - 2m^2 \Delta l_m \text{ となるから、}$$

$$\Delta L_s = 2[1 - 2m^2] \cdot \Delta l_s$$

となる。

【0028】したがって、試料奥行き方向の分解能 (干渉信号の強度がピーク強度の半分になる距離) は、例えば ΔL_s が $50 \mu m$ で干渉信号強度がピーク強度の半分になる光源の場合、試料中では $\Delta l_s = 50 \mu m / (1 - 2m^2)$ だけ移動すると信号強度が半減することとなり、 $m = f_2/f_1 > 1$ であるから $|1/(1 - 2m^2)|$ は1より小さくなるため、従来、光路長差と一致していた分解能と比較して $1/(1 - 2m^2)$ 倍分解能が小さくなる、すなわち向上する。

【0029】なお、上記実施の形態において、図3に示すように変倍光学系30' の試料側のレンズ32に輪帯状の絞り35を加えた構成としてもよい。輪帯上の絞り35を入れることにより、試料の各面からの反射光をより感度よく、すなわち光路長のずれをより敏感に検出することができる。ヘテロダイン干渉計は角度に対する指向性が高いため、ずれの影響が顕著に現れる輪帯 (光軸からずれた部分) を利用することにより感度を向上することができる。具体的には通常の低コヒーレント光源 (SLD) で半値幅20nm程度 (理論分解能約 $17 \mu m$) を用いて、半値幅 $10 \mu m$ 以下の分解能を実現することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の低コヒーレント計測装置の概略構成図

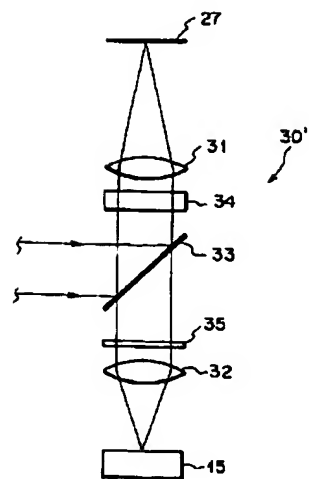
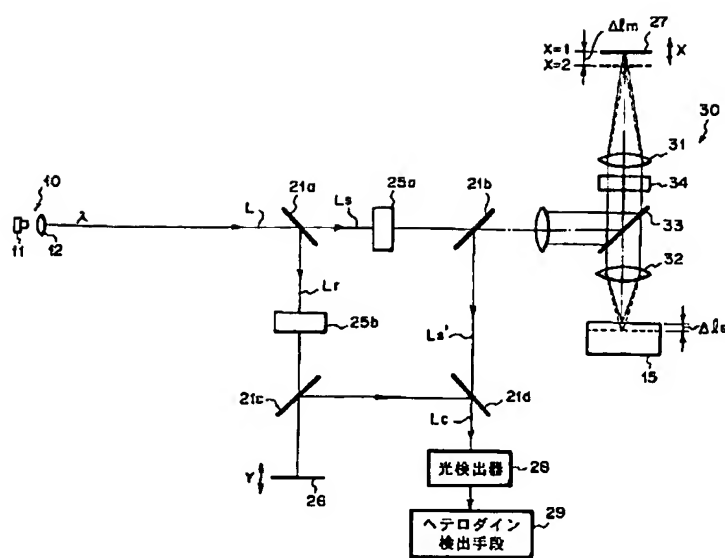
【図2】ミラー移動に伴う光路長変化を説明する図

【図3】輪帯状の絞りを挿入した変倍光学系を示す図

【符号の説明】

- 10 光源装置
- 11 SLD
- 21a ~ 21d ビームスプリッタ (BS)
- 25a, 25b 音響光変調器 (AOM)
- 26 参照光用光路調整ミラー
- 27 信号光用光路調整ミラー
- 30 変倍光学系
- 31, 32 レンズ
- 33 ビームスプリッタ
- 34 $\lambda/4$ 板
- 35 輪帯状絞り

【例3】



【図2】

